

PROCÉDE ET SYSTÈME DE DIFFUSION D'INFORMATIONS DEPUIS UN SATELLITE

5

10

La présente invention concerne un procédé et un système de transmission d'informations (c'est-à-dire de liaison point à point) ou de diffusion (liaison point à multipoints) d'informations sous forme numérique depuis un satellite vers des récepteurs terrestres limitant le brouillage réciproque avec un système de radiocommunication terrestre (désigné par le terme "système de Terre" dans le Règlement des télécommunications) occupant une bande de fréquences présentant un recouvrement avec celle du satellite. On désignera sous le terme général de "récepteurs terrestres" des récepteurs fixes ou mobiles situés à la surface de la terre ou à proximité de celle-ci.

15

L'invention trouve une application particulièrement importante, bien que non exclusive, dans le partage de ressources radioélectriques entre les liaisons descendantes d'un satellite, notamment d'un satellite de télévision, et des systèmes terrestres tels que réseaux de radiodiffusion ou télévision numérique, faisceaux hertziens, réseaux de communication avec des mobiles, par exemple suivant la norme GSM ou UMTS.

20

La figure 1 montre de façon schématique différentes liaisons qui peuvent donner naissance à des brouillages mutuels en cas de coexistence dans la même bande de fréquences :

25

- une liaison descendante F1 d'un satellite S vers une station de réception MS présentant une antenne omnidirectionnelle, ce qui sera par exemple le cas d'une station MS placée sur un véhicule tel qu'un navire, et
- un réseau de Terre (réseau terrestre).

30

Le réseau terrestre peut comporter une station de base T et des stations ou terminaux TS. Dans beaucoup de systèmes, la station de base n'est pas seulement une station d'émission. Elle dialogue avec les stations ou terminaux de réception TS. Certaines des stations T et TS peuvent se trouver dans le lobe d'émission L du satellite S et certaines des stations MS dans une zone d'échanges entre stations T et TS.

35

Cette coexistence conduit à ce que la station MS reçoit non seulement une puissance utile provenant du satellite S (flèche F1), mais aussi une puissance de brouillage B1 provenant des stations du réseau terrestre. Les stations du réseau

terrestre placées dans le lobe d'émission du satellite reçoivent de leur côté une puissance de brouillage B2.

L'invention trouve à s'appliquer chaque fois que le réseau terrestre est organisé de sorte que les échanges dans des zones adjacentes s'effectuent dans des sous-

bandes spectrales différentes et de largeur déterminée, qu'on qualifiera d'étroites.

Dans le cas particulier des systèmes de télévision terrestre, la ressource radioélectrique allouée, par exemple dans les canaux UHF entre 470 et 860 MHz, est répartie suivant un plan de fréquences entre les zones de couverture des différents émetteurs et récepteurs. Pour cela, la bande allouée est fractionnée entre des canaux ou sous-bandes, ayant des fréquences centrales espacées de 8 MHz. Une répartition

similaire est effectuée dans le cas de la téléphonie, à la différence près que les liaisons sont alors bidirectionnelles et occupent deux canaux alloués chacun à un sens de communication.

Pour éviter le brouillage mutuel de la liaison satellite et du système terrestre, la solution évidente consiste à leur affecter des bandes de fréquences disjointes, par

exemple 4GHz pour les liaisons descendantes d'un satellite, 620-790 MHz pour la télévision terrestre et 900 ou 1800 MHz pour la téléphonie mobile. Cette solution est de moins en moins satisfaisante, du fait qu'elle réduit l'efficacité de gestion du spectre de fréquence disponible.

On a également proposé de réduire le brouillage des systèmes terrestres par les liaisons satellites en réduisant la densité surfacique de puissance reçue à la surface de la terre à partir d'un satellite. Mais on réduit par là même la puissance reçue par les terminaux satellites MS, ce qui impose l'utilisation d'antennes directionnelles. Une autre solution, utilisable dans le cas de stations MS fixes, consiste à affecter aux liaisons à

partir du satellite une bande de fréquences en dehors de la bande affectée aux systèmes terrestres dans la zone où se trouve la station MS.

La présente invention vise à résoudre le problème du brouillage tout en autorisant un recouvrement de plages de fréquences, notamment en faisant une nouvelle application des techniques déjà disponibles d'étalement de spectre, y compris par séquence directe ou par saut de fréquence. Plus précisément, l'invention part de la constatation que ces techniques, en les adaptant, permettent d'étaler la puissance du signal émis par le satellite sur une très large bande spectrale, largement supérieure à celle de chacune des liaisons terrestres, en profitant, dans le cas de beaucoup de réseaux terrestres, et notamment dans le cas du GSM et de la télévision, de l'utilisation

de sous-bandes différentes et étroites dans des zones adjacentes et éventuellement de la présence de bandes de garde.

Avec un étalement suffisant par comparaison avec les sous-bandes, le brouillage provoqué par le système terrestre dans la réception par le terminal satellite MS peut être très réduit, sans qu'il soit nécessaire pour cela de disposer d'une voie de retour fournissant une information permettant une adaptation de l'étalement de spectre, en fonction de la puissance de brouillage reçue dans chacune des bandes du système terrestre.

Une conséquence est de permettre l'accès des liaisons descendantes de satellite aux bandes des systèmes terrestres. Une autre conséquence est de permettre, moyennant une simple adaptation, l'emploi, pour les liaisons satellitaires, de formes d'onde et notamment de techniques d'étalement déjà largement utilisées dans le domaine terrestre.

L'invention propose en conséquence un procédé de transmission ou de diffusion d'information sous forme numérique depuis un satellite vers des récepteurs terrestres en présence d'un réseau terrestre effectuant des liaisons occupant chacune une sous-bande de fréquence déterminée et étroite d'une bande étendue, les sous-bandes étant affectées à des zones terrestres différentes au sein desquelles s'effectuent les liaisons, suivant lequel :

- on met l'information sous forme de symboles numériques,
- on distribue les symboles numériques sur plusieurs porteuses appartenant à un groupe de porteuses qui sont réparties dans l'ensemble d'un canal recouvrant au moins quatre des dites sous-bandes de fréquence, en effectuant un étalement de spectre.

Il est avantageux d'utiliser des porteuses toutes disjointes et /ou d'effectuer un changement d'affectation des porteuses dans le temps. Il est également avantageux de répartir les fréquences d'étalement d'un même programme sur la totalité d'une des bandes affectées aux communications terrestres dans la région où s'effectue la transmission ou diffusion à partir du satellite.

L'invention propose également un système de transmission ou de diffusion de programmes d'information sous forme numérique sur la voie descendante d'un satellite vers un ou des récepteurs terrestres, comprenant :

- des moyens pour mettre l'information sous forme de symboles numériques,
- et

- des moyens pour distribuer les symboles numériques de chaque programme sur plusieurs porteuses appartenant à l'ensemble d'un groupe de porteuses qui sont réparties dans la totalité d'une bande affectée par un processus de planification de la ressource radioélectrique du réseau terrestre à la communication en sous-bandes disjointes dans un ensemble de zones terrestres présentant un recouvrement avec le lobe du satellite recouvrant au moins quatre des dites sous-bandes de fréquence, en effectuant un étalement de spectre.

Il peut notamment s'agir d'une affectation par une autorité de régulation .

L'étalement d'un même programme peut des limiter, comme indiqué ci-dessus, à quelques unes seulement des sous-bandes, jointives ou non. Mais avantageusement il se fait sur au moins la totalité d'une des bandes affectées aux communications terrestres dans la région où s'effectue la transmission ou diffusion à partir du satellite.

Il faut relever au passage que l'étalement de spectre a été utilisé jusqu'ici à titre de défense contre un type de brouillage déterminé, et non pas pour réduire l'effet de brouillage d'une émission.

Il faut également relever que l'invention fait une application de la forme d'onde OFDM qui déborde du cadre dans lequel elle a jusqu'à présent été proposée et qui est d'assurer une diversité en temps et fréquence utilisant les caractéristiques variables du canal de propagation en atténuation et multi-trajets pour améliorer la transmission. L'invention profite du fait que les brouilleurs pris en considération sont eux aussi soumis aux variations du canal de propagation.

Suivant un autre aspect de l'invention , il est proposé un émetteur porté par un satellite ou émettant depuis la terre vers un satellite ayant une charge utile transparente de diffusion vers la terre, permettant de mettre en œuvre le procédé ci dessus défini et, comportant :

- des moyens pour mettre l'information sous forme de symboles numériques, et
- des moyens pour distribuer les symboles numériques de chaque programme sur plusieurs porteuses appartenant à l'ensemble d'un groupe de porteuses qui sont réparties dans au moins quatre sous-bandes d'une bande affectée par un processus de planification de la ressource radioélectrique à la communication en sous-bandes disjointes dans un ensemble de zones

terrestres présentant un recouvrement avec le lobe du satellite , en effectuant un étalement de spectre.

Enfin l'invention porte également sur un terminal de réception terrestre comportant des moyens pour effectuer les opérations duales de celles du procédé de transmission ou de diffusion défini ci-dessus.

Les caractéristiques ci-dessus ainsi que d'autres apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- la figure 1, déjà mentionnée, est un schéma destiné à faire apparaître les brouillages réciproques entre réseaux terrestres et satellitaires ;
- la figure 2 montre la superposition spectrale provoquant le brouillage ;
- la figure 3 montre un exemple d'étalement de spectre dans la liaison satellite S-station terrestre MS, ainsi qu'une largeur appropriée de bande d'étalement comparée aux bandes allouées aux différentes liaisons terrestres ;
- les figures 4a et 4b montrent respectivement un exemple d'occupation spectrale des premières porteuses disponibles pour une modulation multi-porteuses dite OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), utilisable pour l'étalement de spectre en cas d'application de l'invention à une diffusion par satellite dans une bande également allouée à la télévision terrestre, et un entrelacement fréquentiel ;
- la figure 5 est un synoptique simplifié d'un émetteur de satellite et d'un récepteur de station terrestre permettant de mettre en œuvre l'invention ;
- la figure 6 est un schéma synoptique montrant une mise en œuvre possible du procédé suivant l'invention à l'émission ;
- la figure 7 est une variante de mise en œuvre du modulateur, en cas de diffusion simultanée de plusieurs programmes ;
- la figure 8, similaire à la figure 7, montre une autre constitution possible du modulateur ;
- les figures 9 et 10 sont des synoptiques partiels de récepteurs ;
- la figure 11 est un synoptique montrant un exemple de mise en œuvre utilisant des modulateurs MSK ou GMSK à faible débit (quelques bkps); et
- la figure 12 est un schéma montrant la diffusion avec un satellite à charge utile transparente.

Avant de décrire des modes particuliers de réalisation de l'invention, il peut être utile de faire apparaître les types de brouillage que l'invention vise à réduire. La figure 2 montre des sous-bandes de fréquence 10 dans lesquels s'effectuent les échanges d'un réseau terrestre, et notamment les sous-bandes d'émission de station terrestre T dans le lobe de la liaison descendante d'un satellite S. Une bande de fréquence de cette liaison, en général d'énergie par unité de surface plus faible au niveau terrestre, est indiquée en 12. Les émissions en provenance de la station T dans la bande de réception de la station terrestre MS de la liaison satellitaire conduisent à un brouillage. Lorsque la puissance de brouillage, ajoutée à d'autres perturbations (bruit thermique du récepteur, environnement) atteint une valeur telle que le rapport entre la puissance utile et la puissance de brouillage descend au-dessous d'un seuil déterminé, la liaison descendante du satellite n'est plus utilisable.

Le même raisonnement s'applique en ce qui concerne le brouillage des liaisons terrestres par la liaison descendante du satellite.

Le brouillage peut être particulièrement intense dans les cellules d'un système de télécommunication cellulaire si on utilise des sous-bandes qui correspondent à la fréquence de la liaison descendante d'un satellite.

Le principe mis en œuvre par l'invention pour réduire le brouillage habituel est illustré sur la figure 3. Il consiste à étaler le spectre fréquentiel de la liaison descendante du satellite de façon à répartir la puissance sur une bande de fréquence 14 beaucoup plus large que chacune des sous-bandes de fréquence allouées chacune à une station terrestre T. Ainsi le brouillage provoqué par une station terrestre T sur une station de réception MS est notablement diminué. Dans la pratique, il suffira, pour régler le problème de la perturbation d'une liaison descendante de satellite par un réseau cellulaire terrestre de type GSM et inversement; de réaliser un étalement de fréquence sur la liaison descendante correspondant à au moins quatre sous-bandes GSM, ce qui amènera dans la pratique à un brouillage réduit et dans une ou deux seulement des sous-bandes.

L'étalement de spectre peut être effectué par séquence directe ou par saut de fréquence (frequency hopping). L'application de ces techniques aux liaisons descendantes de satellites, qui sont typiquement à bande large, par exemple de 6 à 8 Mhz, dans le cas d'un signal de télévision numérique, est malaisée. En effet, l'étalement par saut de fréquence ou par séquence directe n'est utilisable avec une complexité acceptable des systèmes que pour des bandes d'étalement de 1 à 4 Mcps

(mégachips par seconde). Un signal de télévision numérique sur une liaison descendante devrait subir un étalement sur une bande d'au moins 80 Mhz, ce qui rend les appareils existants habituels inapplicables.

Une solution avantageuse pour réaliser un étalement de fréquence est la mise en œuvre de formes d'ondes dites OFDM ou COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) qui correspond à une transformation temps / fréquence avec répartition de l'information sur un nombre élevé de porteuses mutuellement orthogonales. Ce type de forme d'ondes est avantageusement associé à un multiplexage temporel, qui permet de prendre en compte les variations dans le temps du canal de propagation, grâce à un entrelacement par blocs des bits à transmettre. On évite ainsi le risque qu'un grand nombre d'éléments binaires directement adjacents disparaisse.

La figure 4a montre quelques-unes seulement des premières porteuses disponibles pour une telle modulation OFDM. Chaque symbole à transmettre peut être distribué sur 1705 porteuses élémentaires, ayant un écartement de 4,4 kilohertz. Les paramètres peuvent par exemple être les suivants :

- durée d'une période élémentaire OFDM : (7 / 64 microseconde)
- nombre de périodes élémentaires par symbole OFDM : 2048
- durée utile d'un symbole OFDM : 224 microsecondes)
- occupation spectrale d'un symbole OFDM : 76 12 Khz
- rythme de modulation : 3,57 Khz.

La modulation en vue de la transmission sera généralement une modulation de phase à quatre états, dite MDP4 ou QPSK. Toutefois d'autres types de modulation, par exemple MDP8 ou MAQ16 peuvent être utilisés. On verra de plus qu'une modulation continue en phase, notamment les modulations dites MSK et GMSK, présentent des avantages pour ce qui est des performances requises des amplificateurs de puissance du satellite.

Il peut être utile à ce stade de rappeler les traitements successifs qui interviennent à l'émission dans un cas représentatif de l'utilisation de la forme d'onde OFDM.

Comme indiqué en figure 5, un programme de télévision à transmettre est mis en forme en 18 sous forme de paquets, de 188 octets par exemple, au format MPEG-2, MPEG-4 ou DVB ASI, puis soumis à un codage en 20.

Ce codage est en deux étapes concaténées :

- codage par blocs de Reed-Solomon en 22, avec un rendement 188/204 ;

- codage par convolution en 24, par exemple de rendement $\frac{1}{2}$.

On effectue ensuite un entrelacement temporel 26, avec éventuellement fusion avec un autre flux 28; on constitue ainsi un multiplexage temporel par blocs qui répartit les effets des variations du canal de propagation dans le temps.

5 La modulation OFDM ou COFDM 30 est alors effectuée et assure le multiplexage fréquentiel. Elle assure un entrelacement fréquentiel et ajoute en 32 des symboles de porteuses pilotes ou d'analyse. Ces symboles additionnels permettent la synchronisation des récepteurs.

10 Chaque porteuse du signal est ensuite soumise à une modulation de phase différentielle 34 qui donne naissance à des symboles complexes. Des intervalles de garde de durée T_g sont introduits en 38. Une conversion fréquence-temps 36 (FFT inverse généralement) permet de passer dans le domaine temporel. Enfin une conversion numérique / analogique précède le changement de fréquence 42 et l'émission 44.

15 Le signal OFDM habituel est organisé en super-trames de quatre trames de 68 symboles OFDM, chacun de 1705 porteuses élémentaires. Chaque symbole a une durée $T_s = T_u + T_g$ (T_u étant la durée de la partie utile).

On décrira maintenant, à titre d'exemples, plusieurs modes d'étalement de fréquence utilisable.

20 Les exemples numériques qui seront fournis s'appliquent notamment au cas de brouillage potentiel d'une liaison descendante par la transmission et de la diffusion de programmes de télévision sur des réseaux terrestres, qui occupent 8 MHz par canal. Dans ce cas, on pourra par exemple étaler sur :

170 MHz pour une liaison satellitaire dans la bande 620-790 MHz

25 392 MHz pour une liaison satellitaire dans la bande 470-862 MHz.

Etalement par séquence directe

30 Chaque porteuse élémentaire utilisée pour la liaison descendante d'un satellite est soumise à un étalement par séquence directe, avec un espacement entre porteuses suffisant pour éviter leur chevauchement (en évitant en conséquence d'utiliser deux porteuses adjacentes de la figure 4). On diminue ainsi la densité spectrale de puissance, donc le brouillage des canaux terrestres.

Ce procédé permet au surplus de réduire la possibilité de réception par des tiers non autorisés. En effet, l'initialisation d'une séquence d'étalement pseudo-aléatoire peut

nécessiter une clé de chiffrement, dont la possession conditionne la récupération en clair des données transmises.

L'étalement peut s'effectuer notamment de deux façons :

- 1) En augmentant le rythme de modulation par multiplication par une séquence directe avant modulation OFDM, les porteuses OFDM ayant alors un espacement modifié.
- 2) En multipliant l'une et l'autre des voies en phase (I) et en quadrature (Q) par des séquences pseudo-aléatoires spécifiques afin d'effectuer l'étalement avant modulation.

Dans le premier cas chaque porteuse peut être étalée avec une séquence qui soit lui est spécifique, soit est la même pour toutes les porteuses d'un même programme (ou de tous les programmes), ce qui simplifie l'implémentation. Cependant, il est préférable de choisir des séquences différentes pour les voies I et Q afin d'éviter les brouillages entre ces deux voies lors de la démodulation.

Le facteur d'étalement maximum en fréquence réalisable dépend non seulement de la largeur de la bande totale W utilisée par le satellite, mais aussi du nombre P de programmes à transmettre. En effet la bande de largeur B sur laquelle peut s'effectuer l'étalement doit remplir la condition $B \leq W/P$.

Par exemple pour la transmission de quatre programmes dans une bande $W=150$ Mhz, la bande occupée par un programme sera au maximum de 37,5 Mhz, ce qui représente un étalement $E = 37,5/8 = 4,69$ soit environ 5 canaux contigus d'un réseau terrestre de télévision.

Etalement par entrelacement fréquentiel des programmes.

Ce mode d'étalement est du genre utilisé dans la norme DAB par exemple, mais dans le but d'augmenter l'immunité au brouillage et non pas de réduire l'effet de brouillage sur d'autres transmissions. Cette méthode est celle qui réduit le plus la puissance émise par le satellite en diminuant la densité spectrale de puissance émise.

Dans ce cas, l'étalement s'effectue en choisissant, pour un programme, parmi toutes les fréquences disponibles, P fréquences (correspondant aux P porteuses discrètes du programme). La sélection sera généralement faite de manière pseudo-aléatoire. Les différentes porteuses élémentaires de chacun des différents programmes sont choisies orthogonales, c'est-à-dire que les spectres respectifs des différentes porteuses ne se recouvrent pas comme dans le mode OFDM standard.

Pour une bande totale W , il existe M solutions si chaque porteuse occupe une bande b , avec $M = W/b$. Le facteur de diversité ainsi obtenu permet d'éviter localement un brouillage simultané de tous les symboles.

Les deux exemples ci-dessous correspondent à des bandes disponibles de 620-790 Mhz (cas1) et 470-860 Mhz (cas2), avec chaque fois une largeur de bande de 4,46 Khz pour chaque porteuse unitaire.

Paramètre	Cas # 1	Cas # 2
Largeur de bande totale disponible (KHz)	170	390
Nombre de porteuses possible dans la bande disponible	38080	87360
Nombre de porteuses par programme	1705	1705
Facteur de diversité pour un programme	22,3	51,2

La figure 4b donne un exemple de plan de fréquence de porteuses élémentaires, avec un entrelacement régulier, dans le cas de dix programmes entrelacés.

Entrelacement fréquentiel variable dans le temps

Le schéma d'entrelacement peut aussi bien être fixe qu'aléatoire. Dans le premier cas, envisagé plus haut, chaque programme se voit affecter un lot de 1705 fréquences déterminées. Une solution particulière consiste à répartir les fréquences de porteuse utilisées par un programme particulier de manière régulière. Mais, pour donner un traitement égal à tous les programmes, il est possible d'échanger des fréquences entre programmes en effectuant un tirage pseudo-aléatoire des fréquences attribuées à chaque programme dans un lot global de fréquences. Ainsi l'affectation des bits à des porteuses en fonction de leur position dans train de bits se modifie en permanence dans le temps. On ajoute ainsi un entrelacement temporel. Un avantage supplémentaire d'une telle affectation par rapport à une affectation invariable est qu'on supprime le risque de voir des bits correspondant à des paramètres particulièrement importants (bits de codage intra en télévision MPEG par exemple) transmis en permanence sur des fréquences soumises à un brouillage par des brouilleurs à bande étroite.

Etalement par saut de fréquence.

Ce procédé ajoute, à l'entrelacement fréquentiel, la possibilité de modifier l'entrelacement au cours du temps, en changeant au cours du temps les fréquences de chacune des porteuses unitaires, ce qui implique une agilité de modification de fréquence des oscillateurs locaux utilisés.

Combinaison de méthodes

Les méthodes ci-dessus peuvent être combinées notamment pour permettre de transmettre depuis le satellite S une puissance élevée à densité spectrale de puissance maximale donnée.

Constitutions possibles d'émetteur et de récepteur

On donnera maintenant des constitutions possibles d'émetteur (et notamment du modulateur) et de récepteur permettant de mettre en œuvre l'invention.

La figure 6 est un schéma de principe des étapes mises en œuvre à l'émission dans une réalisation particulière.

Les données D admises au modulateur ont déjà été formatées, par exemple conformément au schéma de la figure 5. Ce formatage peut avoir des natures très diverses, par exemple multiplexage hiérarchique, tramage MPEG-2, codage par bloc, codage convolutionnel, entrelacement temporel, entrelacement fréquentiel, etc. Les données traitées sont appliquées à un convertisseur série-parallèle 46 qui distribue les différents éléments binaires sur les différentes porteuses qui composeront la forme d'ondes OFDM. Le modulateur proprement dit 48 module chacune des porteuses en phase et éventuellement en amplitude en fonction des éléments binaires des données et du type de modulation choisi (MDP2, MDP4, MDAP8, MDAP16, ...). Le calcul de la phase et éventuellement de l'amplitude est effectué par un organe de contrôle 50, constitué par un processeur qui détermine une répartition temporelle et fournit les paramètres de modulation et d'étalement par séquence directe dans le cas où cette méthode est utilisée.

La partie du modulateur située en aval de l'élément 48 est classique. Elle comporte un élément 36 effectuant une transformée de Fourier inverse et un convertisseur numérique - analogique 40. Ce convertisseur peut également effectuer un filtrage. Enfin, le cadre 52 indique un bloc regroupant les composants effectuant le changement de fréquence, l'amplification, le filtrage large bande et l'émission.

Dans le cas où n programmes sont simultanément transmis, la constitution du modulateur peut être celle montrée schématiquement en figure 7, où les éléments correspondant à ceux déjà décrits sont désignés par le même numéro de référence, affecté d'un indice lorsque le composant est particulier à un programme. Dans ce cas, il y a autant de convertisseurs série-parallèle 46₁,..., 46_n que de programmes . On retrouve également autant de modulateurs proprement dits, de transformateurs de Fourier inverse, de convertisseurs numériques et de modules de changement de

fréquence et d'émission qu'il y a de programmes. Un même processeur 50 peut être utilisé pour contrôler la fréquence centrale de toutes les porteuses et assurer les étalements.

Chaque convertisseur série-parallèle $46_1, \dots, 46_n$ a pratiquement la même constitution que dans le cas précédent, puisque les données d'entrée de chaque programme sont traitées séparément.

Le modulateur de la figure 7 comporte un dispositif inséré avant les processeurs de transformation de Fourier inverse pour réordonner les porteuses, de façon que chaque transformateur ne traite qu'un sous-ensemble de porteuses qui sont contiguës et non pas disjointes. La présence de ce dispositif implique que les différents programmes à transmettre soient pris en charge globalement.

Dans la variante de réalisation montrée en figure 8, où les blocs 46, 48, 36, 40 et 52 ne sont pas détaillés, un dispositif 56 est inséré pour effectuer un entrelacement prenant globalement en compte tous les programmes, avant modulation. Cette disposition permet de faire traiter uniquement des sous-ensembles de porteuses contiguës en bande de base par les processeurs de transformation de Fourier inverse 36. La charge des processeurs assurant cette fonction de transformation en est réduite. Il devient alors nécessaire d'affecter au module de changement de fréquence 52 une fonction de changement de fréquence différent pour chaque bloc constituant ce dispositif, alors que ce n'était pas le cas pour les blocs $52_1, \dots, 52_n$ de la figure 7. Le dispositif 50 doit de plus commander l'entrelacement des différents symboles des différents programmes sur différentes porteuses, suivant un schéma de répartition qui peut être fixe dans le temps ou qui peut varier dans le temps.

Le récepteur peut avoir la constitution générale montré en figure 9. La partie essentielle des démodulateurs est constituée par les moyens permettant d'assurer le désentrelacement global en prenant en compte tous les programmes. La structure globale du démodulateur n'est pratiquement pas fonction du mode de réalisation de l'émetteur et accepte toutes les variantes mentionnées plus haut. En effet le démodulateur opère sur toute la bande large d'étalement et donc doit fonctionner indépendamment des schémas d'entrelacement.

Sur la figure 9, le signal radiofréquence RF provenant du satellite est converti en signal électrique par l'antenne 60. Un module 62 assure l'amplification, le filtrage et la conversion de fréquence vers une fréquence inférieure. Le module 64 effectue une conversion analogique-numérique et une conversion en bande de base. De plus, il

duplique le signal pour alimenter plusieurs processeurs de transformation de Fourier rapide 66. L'utilisation de plusieurs processeurs plutôt que d'un seul vise à réduire les capacités de traitement exigées de chacun des processeurs. Leur nombre est indépendant de celui des programmes.

5 Un bloc 68 assure la démodulation. Ce bloc comporte plusieurs démodulateurs élémentaires, afin de limiter leur capacité de traitement. Pour fonctionner, les démodulateurs doivent recevoir des informations de phase et d'amplitude ainsi que des instructions de contrôle. Un module 70 assure la synchronisation en temps et en fréquence des démodulateurs et leur fournit les séquences directes d'étalement, le cas

10 échéant. Le bloc 72 de désentrelacement fréquentiel assure le réarrangement des informations suivant les programmes en utilisant une séquence de désentrelacement qui est soit fixe et mémorisée une fois pour toutes, soit variable dans le temps, auquel cas elle est fournie par le dispositif 70. Ce dispositif reçoit lui-même des données de signalisation DS provenant de l'émetteur et définissant le chemin d'entrelacement, la

15 répartition temporelle, les séquences d'étalement utilisées, etc. Ces données de signalisation peuvent être extraites par le bloc 64. Les données de signalisation DS peuvent, en particulier être transmises sur les fréquences pilote et les canaux de synchronisation qui sont en général prévus dans les types habituels de modulation OFDM.

20 Les démodulateurs 68 peuvent fournir également des informations sur l'état du canal, le rapport signal à bruit et les fréquences les plus affectées par le brouillage, de façon à envoyer, sur une voie de retour, des indications permettant de modifier les fréquences.

25 Dans la variante de réalisation montrée en figure 10, le bloc 72 de désentrelacement fréquentiel est placé avant les démodulateurs, ce qui permet d'intégrer, dans les démodulateurs, les fonctions d'égalisation et de décodage canal avant restitution des informations binaires. Sur la figure 10, les éléments correspondant à ceux de la figure 9 portent le même numéro de référence.

30 On ne décrira pas ici la constitution détaillée des divers blocs et modules incorporés dans l'émetteur et le récepteur car elle peut être l'une de celles actuellement utilisées pour d'autres applications. Les caractéristiques des modulations MDP, MSK et GMSK et les formes OFDM et COFDM habituelles sont données dans différents documents auxquels on pourra se reporter, par exemple:

ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001 -01) European standard – Digital Video Broadcasting (DVB)

Performance of COFDM for satellite digital audio broadcasting, A. Franchi et al, Int. On Satellite communication., vol. 13 , 229 – 242, 1992.

5 Les modulations MDP, et en particulier la modulation MDP4 fréquemment utilisée, conduisent à une amplitude qui varie très fortement à l'entrée d'un amplificateur, ce qui peut obliger à faire appel à des dispositifs d'écrêtage et à faire fonctionner les amplificateurs loin de la saturation. Cet inconvénient peut être très réduit en utilisant une modulation continue en phase et notamment une modulation à gradient
10 de phase minimal, dite MSK , éventuellement gaussienne , dite GMSK. La fréquence de la porteuse est alors avantageusement un multiple entier d'un facteur 4 du rythme de modulation. Ainsi on peut avoir un signal d'entrée à amplitude sensiblement constante à l'entrée des amplificateurs du satellite et de les faire fonctionner à proximité de la saturation. On peut se contenter de réduire le rapport entre l'amplitude de crête et
15 l'amplitude moyenne en utilisant une modulation dite 2-MDP2 ou OQPSK.

Sur la figure 11, qui donne un exemple d'implémentation, les éléments correspondant à ceux des figures précédentes sont encore désignés par le même numéro.

Les données et la signalisation D à transmettre pour chaque programme peuvent
20 être soumis à une hiérarchisation en 60, par exemple en traitant séparément les deux flux représentés pour protéger davantage les données sensibles (codage en intra en télévision numérique). La figure 11 montre ensuite la mise en trames MPEG2 en 62, le codage par bloc 64, l'entrelacement temporel 66, le codage convolutionnel 68 et l'entrelacement fréquentiel 70 sur chaque flux. La répartition de fréquences par mise en
25 forme OFDM est ensuite effectuée globalement par des processeurs cartographiques 72. La diversité de fréquence et l'étalement sur l'ensemble de la plage allouée sont assurés par un bloc comportant une mémoire cartographique et un groupe de modulateurs MSK ou GMSK 74 à faible débit (typiquement quelques kbps).

Il n'est pas possible d'utiliser une transformée de Fourier inverse car cela
30 détruirait la continuité de phase des signaux MSK ou GMSK, alors que la démodulation pourra être effectuée classiquement avec une transformée de Fourier rapide.

On peut ensuite effectuer un premier changement de fréquence sous forme numérique afin de distribuer les porteuses, ce qui facilite l'implémentation de la diversité de brouillage. Une deuxième conversion fixe peut avoir lieu, si nécessaire, et après

conversion en 76. Chaque porteuse est amplifiée par un amplificateur 78 de faible puissance (de l'ordre de 1 W) à état solide et fonctionnant en mode saturé (ayant donc un très bon rendement). Chaque amplificateur n'amplifie qu'une très petite partie de l'information (typiquement 0,01%). La forme d'onde MSK supporte bien ce mode d'amplification et de plus les émissions hors bande sont limitées. Enfin, les signaux sont juxtaposés et transmis par l'antenne.

Cette méthode est applicable avec démodulation embarquée et remodulation OFDM, ou bien avec un traitement numérique des signaux sans démodulation des porteuses (la conversion de fréquence pouvant être réalisée au moment du traitement numérique).

Dans le mode de réalisation du système de diffusion vers des mobiles à partir de stations terrestres 80 qui est montré en figure 12, la charge utile du satellite S est transparente.

Les stations terrestres 80 émettent les programmes sur la voie montante M après formatage (et synchronisation des fréquences d'étalement si nécessaire) vers le satellite S. Celui-ci convertit le signal reçu et le retransmet vers le sol en direction des différents terminaux MS placés dans sa couverture. Dans ce cas, toutes les opérations définies dans le procédé suivant l'invention s'effectuent au sol.

Dans une première variante, chacune des stations TS transmet le signal sous la forme d'une seule porteuse (par exemple au format DVB-S ou au standard DVB-T). A la réception de la voie montante, la charge utile du satellite démodule et décode les signaux reçus, puis les reformate suivant le procédé. Les stations de transmission 80 sont alors indépendantes du procédé.

Une autre variante est applicable au cas de l'utilisation du standard DVB-T à l'émission. Etant donné que le procédé est indépendant de la forme d'onde DVB-T, les variantes ne faisant pas appel à l'étalement de spectre direct peuvent être mises en œuvre sans démodulation des porteuses mais avec seulement une réorganisation des porteuses en fonction des lois programmées à bord du satellite. Ces lois peuvent être choisies sur commande d'une station de contrôle au sol par exemple.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de transmission ou de diffusion d'information sous forme numérique depuis un satellite vers des récepteurs terrestres en présence d'un réseau terrestre effectuant des liaisons occupant chacune une sous-bande de fréquence déterminée et étroite d'une bande étendue, les sous-bandes étant affectées à des zones terrestres différentes au sein desquelles s'effectuent les liaisons, suivant lequel :

- on met l'information sous forme de symboles numériques,
- on distribue les symboles numériques sur plusieurs porteuses appartenant à un groupe de porteuses qui sont réparties dans l'ensemble d'un canal recouvrant au moins quatre des dites sous-bandes de fréquence, en effectuant un étalement de spectre.

2. Procédé selon la revendication 1 de diffusion de programme de télévision, caractérisé en ce que le canal présente une largeur de :

170 MHz pour une liaison satellitaire dans la bande 620-790 MHz

392 MHz pour une liaison satellitaire dans la bande 470-862 MHz.

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on répartit les fréquences d'étalement d'un même programme sur au moins la totalité d'une des bandes affectées aux communications terrestres dans la région où s'effectue la transmission ou diffusion à partir du satellite.

4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que l'étalement de spectre est effectué en mettant en œuvre une mise en forme d'onde OFDM ou COFDM.

5. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que l'on effectue l'étalement de chaque porteuse élémentaire par séquence directe, avec un espacement entre porteuses suffisant pour éviter leur chevauchement.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'on effectue l'étalement de chaque porteuse par multiplication par une séquence commune, éventuellement avec identification de la séquence à la réception par connaissance d'une clé de chiffrement.

7. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'on effectue l'étalement de chaque porteuse par multiplication des voies I et Q par des séquences différentes.

8 Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que l'on effectue l'étalement par entrelacement fréquentiel.

5 9. Procédé selon la revendication 1 de diffusion simultanée de plusieurs programmes, suivant lequel l'étape de modulation comporte autant de conversions série-parallèle ($46_1, \dots, 46_n$), de modulations séparées, de transformations de Fourier inverse, de conversions numérique – analogique et de changement de fréquence et d'émission qu'il y a de programmes, la fréquence centrale de toutes les porteuses et les étalements étant assurés par un processeur commun (50).

10 10. Système de transmission ou de diffusion de programmes d'information sous forme numérique sur la voie descendante d'un satellite vers un ou des récepteurs terrestres, comprenant :

- des moyens pour mettre l'information sous forme de symboles numériques, et
- des moyens pour distribuer les symboles numériques de chaque programme
- 15 sur plusieurs porteuses appartenant à l'ensemble d'un groupe de porteuses qui sont réparties dans au moins quatre sous-bandes d'une bande affectée par un processus de planification de la ressource radioélectrique à la communication en sous-bandes disjointes dans un ensemble de zones terrestres présentant un recouvrement avec le lobe du satellite , en effectuant
- 20 un étalement de spectre.

11. Système suivant la revendication 10, dans lequel le groupe de porteuses est constitué de porteuses réparties dans au moins la totalité de la bande affectée.

12. Système suivant la revendication 10 ou 11, suivant lequel les dits moyens appartiennent à la charge utile du satellite et le dit satellite reçoit les programmes par

25 une voie montante sur une seule porteuse.

13. Système suivant la revendication 10 ou 11, suivant lequel les dits moyens sont incorporés à une station terrestre d'émission sur une voie montante vers le satellite et la charge utile du dit satellite est transparente.

14. Emetteur porté par un satellite ou émettant depuis la terre vers un satellite

30 ayant une charge utile transparente de diffusion vers la terre, permettant de mettre en œuvre le procédé suivant la revendication 1, comportant :

- des moyens pour mettre l'information sous forme de symboles numériques, et

- des moyens pour distribuer les symboles numériques de chaque programme sur plusieurs porteuses appartenant à l'ensemble d'un groupe de porteuses qui sont réparties dans au moins quatre sous-bandes d'une bande affectée par un processus de planification de la ressource radioélectrique à la communication en sous-bandes disjointes dans un ensemble de zones terrestres présentant un recouvrement avec le lobe du satellite, en effectuant un étalement de spectre.

15. Terminal de réception comportant des moyens pour effectuer les opérations duales de celles du procédé suivant la revendication 1.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
27 mars 2003 (27.03.2003)

PCT

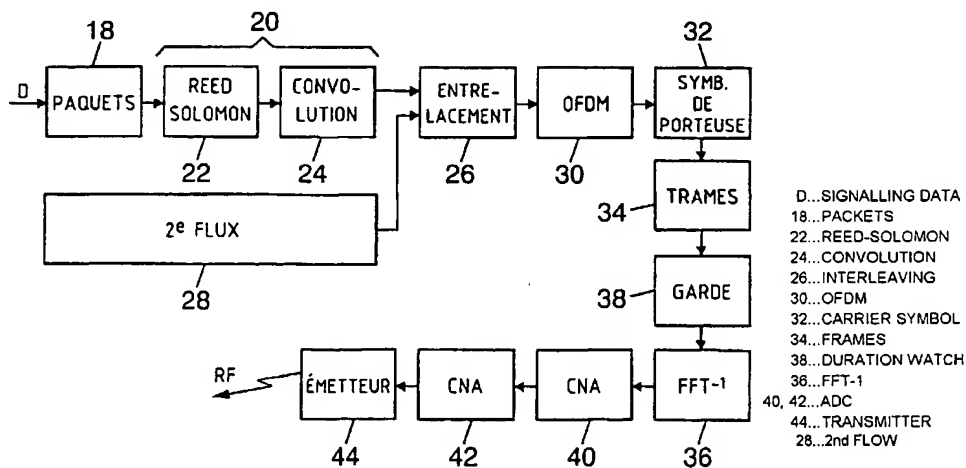
(10) Numéro de publication internationale
WO 03/026163 A1

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : **H04B 7/216, 7/185**
- (21) Numéro de la demande internationale : **PCT/FR02/03087**
- (22) Date de dépôt international : **11 septembre 2002 (11.09.2002)**
- (25) Langue de dépôt : **français**
- (26) Langue de publication : **français**
- (30) Données relatives à la priorité :
01/11921 14 septembre 2001 (14.09.2001) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **ASTRIUM SAS [FR/FR]; 37, avenue Louis Breguet, F-78140 Velizy Villacoublay (FR).**
- (72) Inventeur; et
(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **MICHEL, Cyril [FR/FR]; Astrium SAS, 31, rue des Cosmonautes, 31070 Toulouse Cedex (FR).**
- (74) Mandataires : **FORT, Jacques etc.; Cabinet Plasseraud, 84, rue d'Amsterdam, F-75440 Paris Cedex 9 (FR).**
- (81) État désigné (national) : **US.**
- (84) États désignés (régional) : **brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).**
- Déclaration en vertu de la règle 4.17 :
— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR DATA BROADCAST FROM A SATELLITE

(54) Titre : PROCÉDE ET SYSTEME DE DIFFUSION D'INFORMATIONS DEPUIS UN SATELLITE



(57) Abstract: The invention concerns a method for reducing mutual interference of a digital data transmission or broadcast from a satellite to terrestrial receivers and terrestrial network links using sub-bands each of specific and narrow frequency, belonging to an extended band, the sub-bands being assigned to different terrestrial zones wherein the links are provided. Therefor, the information from the satellite is converted in the form of digital symbols and the digital symbols are distributed over several carriers belonging to a group of carriers distributed in a channel assembly covering at least four of the frequency sub-bands, by spread spectrum.

(57) Abrégé : Le procédé vise à réduire le brouillage mutuel d'une transmission ou diffusion d'information sous forme numérique depuis un satellite vers des récepteurs terrestres et des liaisons d'un réseau terrestre utilisant des sous-bandes chacune de fréquence déterminée et étroite, appartenant à une bande étendue, les sous-bandes étant affectées à des zones terrestre différentes au sein desquelles s'effectuent les liaisons. Pour cela on met l'information provenant du satellite sous forme de symboles numériques et on distribue les symboles numériques sur plusieurs porteuses appartenant à un groupe de porteuses qui sont réparties dans l'ensemble d'un canal recouvrant au moins quatre des sous-bandes de fréquence, en effectuant un étalement de spectre.



Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.